3А

УДК 004.93

Л.Г. Ахметшина, А.А. Егоров, И.М. Удовик
Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара, Украина
Украина, 49050, г. Днепропетровск, ул. Научная, 13

Алгоритм бинаризации фотоизображений горных пород на неоднородном фоне

L.G. Achmetshina, A.A. Yegorov, I.M. Udovick
Dniepropetrovsk National University named by Oles Hochar, Ukraine
Ukraine, 49050, c. Dniepropetrovsk, Nauchnaja av., 13

The Binarization Algorithm of the Rock Photos with Heterogeneous Background

Л.Г. Ахметшина, А.О. Єгоров, І.М. Удовик
Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, Україна
Україна, 49050, г. Дніпропетровськ, вул. Наукова, 13

Алгоритм бінаризації фотозображень гірських порід на неоднорідному фоні

Данная работа посвящена описанию модифицированного алгоритма бинаризации цветных фотоснимков горных пород с целью выделения объектов интереса, являющихся различными по величине фракциями минералов, представленными на неоднородном фоне, для обеспечения в дальнейшем возможности автоматизации выполнения гранулометрического анализа их состава. Представлены результаты экспериментальных исследований возможностей предложенного алгоритма, подтверждающие повышение достоверности бинаризации и выделения контуров фракций минералов по сравнению с исходным методом.
Ключевые слова: обработка изображений, бинаризация, неоднородный фон, выделение контуров, гранулометрический состав, горная порода.

This article is devoted to description of the modified algorithm of the rock color photos binarizing. The purpose of this processing is the detection of the objects of interest that represent the different size mineral fractions on the heterogeneous background. It gives the opportunity to automate the process of the granulometric composition analysis in the future. The experimental researches of the proposed algorithm show the validity enhancement of the binarization and the edge detection of the mineral fractions comparing to the original method.
Keywords: image processing, binarization, heterogeneous background, edge detection granulometric composition, rock.

Ця робота присвячена опису модифікованого алгоритму бінаризації кольорових фотознімків гірських порід з метою виявлення об'єктів інтересу, що є різними за розміром фракціями мінералів, які представлені не неоднорідному фоні, для забезпечення в подальшому можливості автоматизації гранулометричного аналізу їх складу. Наведені результати експериментальних досліджень запропонованого алгоритму, які підтверджують підвищення достовірності бінаризації та виявлення контурів фракцій мінералів у порівнянні з вихідним методом.
Ключові слова: обробка зображень, бінаризація, неоднорідний фон, виявлення контурів, гранулометричний склад, гірнича порода.

Введение

Одним из основных этапов технологического процесса в горной промышленности является определение гранулометрического состава горных пород. Оно представляет собой расчет процентного весового содержания в породе различных по величине

фракций [1]. Для решения этой задачи традиционно применяется ситовый метод, основанный на просеивании породы через набор различных по величине ячеек [2]. Этот метод требует существенного применения ручного труда и временных затрат, что затрудняет его применение в ряде случаев, например, для проведения экспресс-анализа. Таким образом, актуальной является задача разработки технологий, позволяющих осуществлять определение гранулометрического состава горных пород в автоматизированном или автоматическом режимах с минимальными затратами ручного труда и обладающих достаточным уровнем точности.

Одной из возможностей решения задачи проведения экспресс-контроля гранулометрического состава является использование фотографических изображений, полученных в процессе добычи или переработки [3] горных пород. При использовании такого подхода одним из важнейших этапов, определяющих точность конечного результата, является предварительная обработка исходного снимка, которая является нетривиальной задачей [4]. Этот этап включает в себя такие операции как фильтрация шумов, повышение контраста, выделение объектов интереса (контуров), бинаризацию и т.д., способ выполнения которых существенно зависит от качества и характеристик исходных изображений. Конечной целью обработки является получение данных в виде, пригодном для автоматического (автоматизированного) анализа гранулометрического состава.

Основными проблемами, усложняющими предварительную обработку изображений, являются неоднородность фона и освещения при формировании снимка, наличие размытых и низкоконтрастных областей, «слипание» и частичное перекрытие (наложение) объектами друг друга.

Так, например, неоднородность фона и освещения затрудняет применение традиционных способов фильтрации (медианного фильтра или фильтра Винера [5]) и улучшение разделения объектов на основе применения гистограммных методов [5-7] или преобразования растяжения контраста [6]. Наличие низкоконтрастных и засвеченных областей делает невозможным непосредственное выделение контуров объектов интереса на основе использования пороговых (метод Хуанга и Ванга [8]) или градиентных (оператор Собеля [5], [6]) методов.

Постановка задачи. В работе [9] был предложен алгоритм бинаризации фотоснимков горных пород позволяющий выделять контуры объектов интереса с целью проведения дальнейшего гранулометрического анализа. Его недостатком является выделение значительного количества неинформативных (ложных) контуров, отражающих структуру, а не границы объектов интереса, а также недостаточная чувствительность при разделении соприкасающихся объектов с одинаковыми яркостными свойствами, что обусловлено использованием только одного (красного) цветового канала.

В данной работе предложен модифицированный алгоритм бинаризации цветных фотоснимков горных пород, который за счет учета всех цветовых каналов позволяет повысить достоверность их анализа.

Решение задачи

Предложенный алгоритм состоит из следующих шагов:

а) повышение яркости и контраста красного цветового канала I_r^1 (выбран как наиболее информативный на основании экспериментальных исследований) после масштабирования его на отрезок $[0,1]$;

б) удаление неоднородного фона (следует отметить, что его выбор оказывает существенное влияние на способ обработки изображения);

в) преобразование яркости полученного изображения с целью улучшения разделения объектов;

г) выделение контуров;

д) бинаризация полученного изображения;

е) синтез изображения на основе индексов максимального значения цветовой составляющей каждого пикселя;

ж) подавление малозначимых различий у сформированного изображения;

з) выполнение шагов в) – г). Следует отметить, что вид преобразований, применяемых на этом этапе, несколько отличается от формул, используемых на шагах в)-г);

и) шаг д) для изображения, полученного после выполнения предыдущего этапа;

к) формирование итогового изображения на основании слияния двух бинарных снимков, полученных на шагах е) и и).

Повышение яркости и контраста для изображения I_r^1 выполняется по формуле:

$$I_{x,y}^2 = \left(\left(I_r^1\right)_{x,y}\right)^{\left(1-\left(I_r^1\right)_{x,y}\right)^{1-\left(I_r^1\right)_{x,y}}} \tag{1}$$

для всех пикселей изображения, яркость которых удовлетворяют условию

$$\left(I_r^1\right)_{x,y} \le \overline{I_r^1}',$$

где $\overline{I_r^1}' = \left(\overline{I_r^1} + 0.5\right)/2$, а $\overline{I_r^1}$ – среднее по изображению $\overline{I_r^1}$.

Для нейтрализации (удаления) фона осуществляется преобразование яркости каждого пикселя изображения I^2 по следующему алгоритму.

1. Изображение I^2 разбивается на перекрывающиеся окна размерностью 3×3 пикселя (во всех оконных преобразованиях предложенного алгоритма применяются окна такого размера), и для каждого пикселя $w_{x,y}$ текущего окна выполняется преобразование:

$$w_{x,y} = w_{x,y} + \frac{\overline{w} - w_{x,y}}{2}, \tag{2}$$

где $\overline{w}$ – его средняя яркость, в результате чего формируется изображение I^3.

2. Получение изображения I^4 на основе степенных преобразований, обеспечивающих нелинейность преобразования яркостей:

$$I_{x,y}^4 = \left(I_{x,y}^3\right)^{\left(1-\left(1-I_{x,y}^3\right)^{I_{x,y}^3}\right)}. \tag{3}$$

Этот шаг является одним из основных при подавлении (приведении к белому цвету) фона.

3. Последовательное двукратное применение ранговой фильтрации (по максимуму для области 3×3 пикселя) [10] с последующим выполнением 1-го шага, в результате чего формируется изображение I^5.

4. Получение изображения I^6 по следующей формуле:

$$I_{x,y}^6 = \left(I_{x,y}^5\right)^{\left(1-I_{x,y}^5\right)}. \tag{4}$$

5. Формирование изображения I^7 следующим образом:

$$I^7_{x,y} = \left(I^6_{x,y}\right)^{\left(1+\left(I^6_{x,y}\right)^{1-I^6_{x,y}}\right)}. \quad (5)$$

6. На последнем шаге пиксели происходит последовательная замена всех значений яркости, которые превышают $\overline{M}$, на 1. Это значение рассчитывается как среднее по яркостям изображения, удовлетворяющим условию:

$$T_1 < I^7_{x,y} < 1. \quad (6)$$

Этот процесс происходит до тех пор, пока выполняется условие $\overline{M} > T_1 + (1-T_1)/3$. На основе экспериментальных исследований рекомендуется использовать $T_1 = 0.9$ приравниваются 1. Затем применяется ранговая фильтрация (по максимуму) в результате чего и формируется изображение I^8.

Преобразование яркости с целью улучшения разделения объектов выполняется с использованием следующих формул:

$$\begin{cases} I^9_{x,y} = \left(I^8_{x,y}\right)^{1-\left(I^8_{x,y}\right)^{1-I^8_{x,y}}} & ; I^8_{x,y} \le \overline{I^8} \\ I^9_{x,y} = \left(I^8_{x,y}\right)^{1+\left(I^8_{x,y}\right)^{1+I^8_{x,y}}} & ; I^6_{x,y} > \overline{I^8}, \overline{I^8} \le 0.5, \\ I^9_{x,y} = \left(I^8_{x,y}\right)^{1-\left(I^8_{x,y}\right)^{1+I^8_{x,y}}} & ; I^6_{x,y} > \overline{I^8}, \overline{I^8} > 0.5 \end{cases} \quad (7)$$

$$I^{10}_{x,y} = \left(I^9_{x,y}\right)^{\left(1+\left(I^9_{x,y}\right)^{1+I^9_{x,y}}\right)}, \quad (8)$$

где $\overline{I^8}$ – среднее значение яркости для пикселей изображения I^8, чья интенсивность меньше 1. После этого выполняется сглаживание на основе формулы (2), в результате чего и формируется изображение I^{11}.

Для выделения контуров использовался лапласиан гауссиана [6] со значением $\sigma = 0,5$, в результате расчета которого формировалась маска размером 3×3 пикселя. После применения полученной маски к снимку I^{11} формируется изображение I^{12}, для которого вычисляется минимальное значение $I^{12}_{\min}$. Т.к. одним из недостатков применения лапласиана гауссиана является формирование двойных контуров, то для всех пикселей изображения $I^{12}_{\min}$, значения яркости которых меньше 0, они обнуляются. Далее выполняются преобразования, усиливающие различия между цветом контура и фона:

$$I^{13}_{x,y} = \left(I^{12}_{x,y}\right)^{\left(\left(I^{12}_{x,y}\right)^{1+I^{12}_{\min}} - I^{12}_{\min}\right)^{1+I^{12}_{\min}}}, \quad (9)$$

$$I^{14}_{x,y} = \left(I^{13}_{x,y}\right)^{1-I^{13}_{x,y}}. \quad (10)$$

Производится бинаризация полученного изображения I^{14} с использованием условия $I^{14}_{x,y} \geq \overline{I^{14}}$, где $\overline{I^{14}}$ – это среднее по пикселям снимка I^{14}, значения интенсивности которых больше 0. Затем выполняется ранговая фильтрация порядка 7 для, в результате чего формируется первое бинарное изображение I^{1}_{bin}.

Для улучшения разделения объектов с различными яркостными и цветовыми характеристиками необходимо использовать информацию обо всех его цветовых каналах исходного изображения. В предложенном алгоритме это выполняется следующим образом: формируется изображение I^{1}_{ind} на основе индексов максимального значения цветовой составляющей каждого пикселя и масштабируется на отрезок $[0,1]$.

После этого осуществляется подавление малозначимых различий между значениями яркости одного и того же пикселя у разных цветовых каналов. Это осуществляется путем присвоения 1 значениям яркости тех пикселей у изображения I^{1}_{ind}, для которых разница их интенсивностей у любых двух выбранных цветовых каналов не превышает значения $\overline{d_{ch}}/4$. При этом $\overline{d_{ch}}$ – среднее по разности между интенсивностями для пары выбранных цветовых каналов. Затем происходит медианная фильтрация полученного снимка и дважды выполняется ранговая фильтрация (по максимуму).

Полученное изображение подвергается преобразованию по формуле (2) в результате чего формируется снимок I^{2}_{ind}. Преобразование яркости изображения I^{2}_{ind} с целью улучшения разделения объектов осуществляется по формуле:

$$\left(I^{3}_{ind}\right)_{x,y} = \left(\left(I^{2}_{ind}\right)_{x,y}\right)^{\left(1-\left(\left(I^{2}_{ind}\right)_{x,y}\right)^{1-\left(I^{2}_{ind}\right)_{x,y}}\right)} \quad (11)$$

после чего дважды выполняется ранговая фильтрация (по максимуму) для области 3×3 пикселя.

Выделение контуров у изображения I^{3}_{ind} также осуществляется на основе применения лапласиан гауссиана с вышеописанными параметрами. После применения полученной маски к снимку I^{3}_{ind} формируется изображение I^{4}_{ind}, для которого вычисляется минимальное значение $I^{4}_{\min}$, и для пикселей, значения яркости которых меньше 0, они обнуляются. Далее осуществляется усиление различия между цветом контура и фона на основе преобразования:

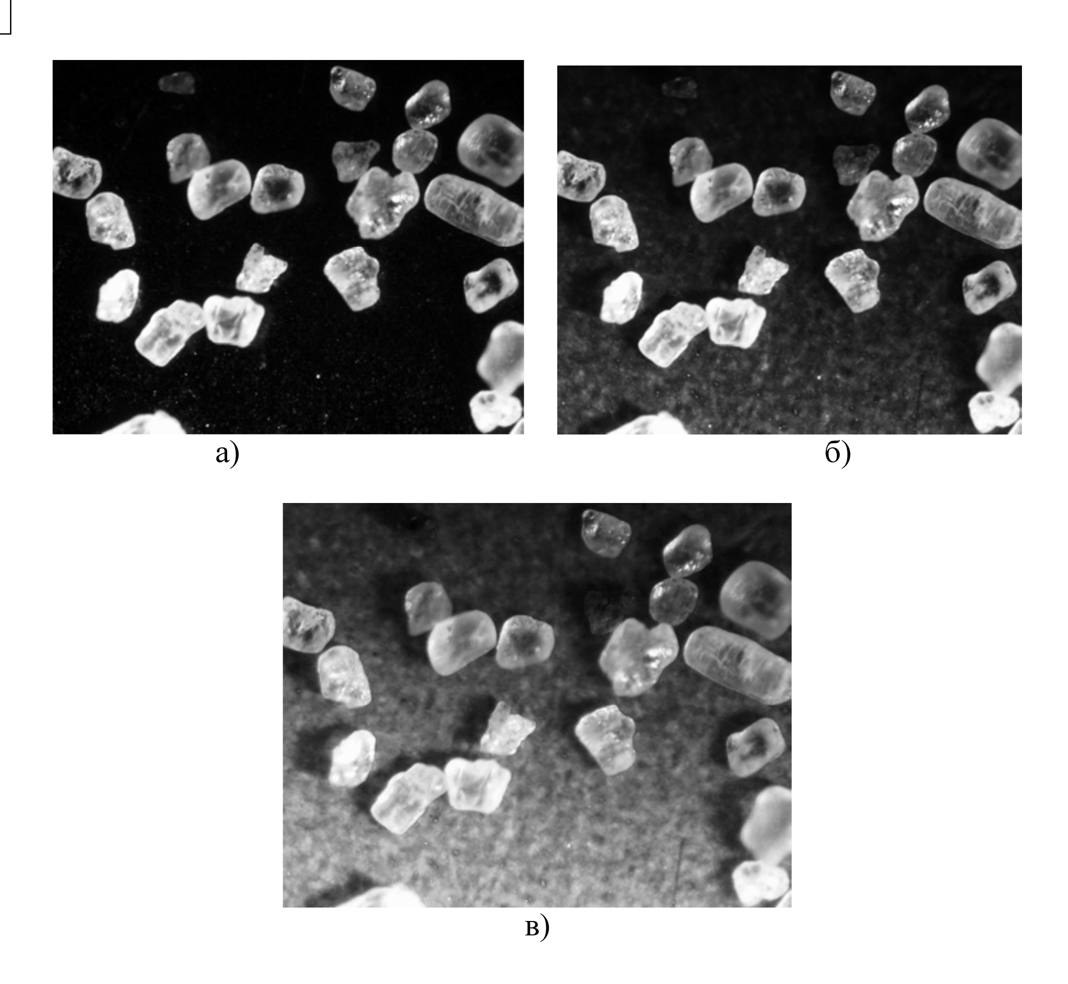
$$\left(I^{5}_{ind}\right)_{x,y} = \left(\left(I^{4}_{ind}\right)_{x,y}\right)^{\left(1-\left(\left(I^{4}_{ind}\right)_{x,y}\right)^{1+I^{4}_{\min}} - I^{4}_{\min}/2\right)} \quad (12)$$

и формулы (10) в результате чего формируется изображение I^{6}_{ind}.

Бинаризация этого изображения осуществляется также как и для снимка I^{14}. В результате этого формируется изображение I^{2}_{bin}.

Итоговое изображение I^{out} является результатом слияния снимков I^{1}_{bin} и I^{2}_{bin} (на основе максимума яркости) и последующего применения ранговой фильтрации порядка 4.

Экспериментальные результаты. Представленный модифицированный алгоритм был применен для обработки изображений, содержащих различные минералы горных пород на неоднородном фоне, примером которого может служить снимок, цветовые каналы которого представлены на рис. 1 а) – 1 в).



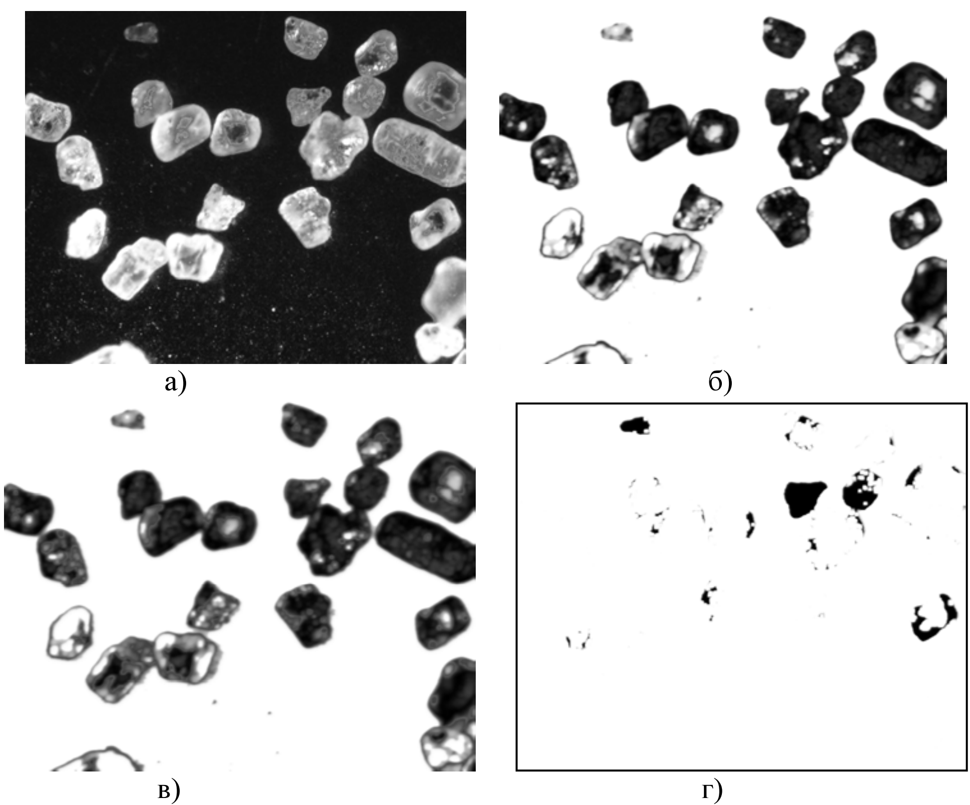
а) б)

в)

Рисунок 1 – Цветовые каналы исходного изображения:
а) красный; б) зеленый; в) синий

На рис. 2 а) представлен результат повышения яркости и контраста красного цветового канала в результате чего, в частности, наблюдается и улучшение визуальной различимости камня в левом верхнем углу. На рис. 2 б) приведены результаты удаления фона (замены его белым цветом), а на рис 2 в) – улучшения разделения объектов. Последний этап обеспечивает также уменьшение неинформативной детализации частей объектов, обусловленной особенностями их формы и структуры. На рис. 2 г) отображен результат улучшения разделения объектов на изображении, которое было получено на основе индексов цветового канала с максимальной яркостью для каждого пикселя. Это изображение позволяет лучше разделить объекты различных цветов.

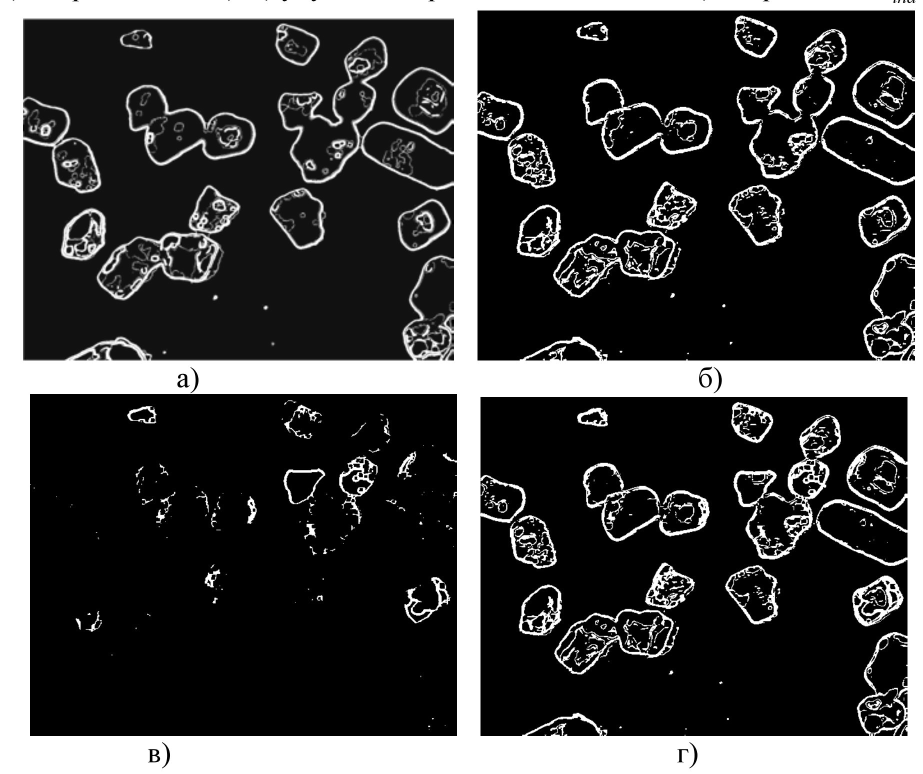
На рис. 3 а) представлены результаты бинаризации красного цветового канала для исходного алгоритма. На рис 3 б) – 3 г) продемонстрировано применение модифицированного алгоритма бинаризации. При этом на рис. 3 б) приведено изображение I_{bin}^{1} (бинаризация красного цветового канала), на рис. 3 в) – снимок I_{bin}^{2}, а на рис. 3 г) – конечный результат. Очевидно, что использование информации о цветовых каналах позволило улучшить разделение объектов различных цветов. При сравнении результатов бинаризации красного цветового канала исходного (рис. 3 а) и конечного результата модифицированного (рис. 3 г) алгоритмов можно увидеть, что в последнем случае уменьшается количество выделенных ложных контуров, а также улучшается разделение объектов.



а) б)

в) г)

Рисунок 2 – Результаты обработки исходного снимка: а) повышение яркости и контраста для красного цветового канала; б) удаление фона; в) улучшение разделения объектов (изображение I^{11}); г) улучшение разделения объектов (изображение I^{3}_{ind})



а) б)

в) г)

Рисунок 3 – Результаты бинаризации: а) применение исходного алгоритма; б) изображение I^{1}_{bin}; в – изображение I^{2}_{bin}; г – итоговое изображение

Выводы

Предложенный в данной работе модифицированный алгоритм бинаризации цветных фотоснимков горных пород с целью выделения объектов интереса для проведения дальнейшего гранулометрического анализа позволяет повысить достоверность их выявления по сравнению с исходным методом. К недостаткам предложенного подхода следует отнести выявление, хоть и в меньшей степени, ложных контуров, обусловленных структурой объектов, невозможность обработки засвеченных объектов (что выражается в интерпретации нескольких таких объектов в качестве единой структуры) и большую вычислительную сложность.

Список литературы

1. Пилов П.И. Описание удельной поверхности продуктов измельчения на основе функции распределения дисперсности / П.И. Пилов, Н.С. Прядко // Збагачення корисних копалин. – 2013. – Вип. 53(94). – С. 60-68.
2. Козин В.З. Контроль технологических процессов обогащения / В.З. Козин. – Екатеринбург : ВШ, 2005. – 303 с.
3. Корнієнко В.І. Логічні алгоритми обробки бінарних зображень в оптичному гранулометрі дроблених матеріалів / В.І. Корнієнко // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2006. – № 11. – С. 89-90.
4. Корниенко В.И. Проблемы разработки математического обеспечения для оптического гранулометра дробленых материалов / В.И. Корниенко, В.В. Глухов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1990. – № 2. – С. 68-71.
5. Pratt W.K. Digital Image Processing / Pratt W.K. – New York; – Chichester; Weinheim; Brisbane: John Wiley and Sons Inc., 2001. – 723 p.
6. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс; [пер. с англ. под ред. П.А.Чочиа]. – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с.
7. Яне Б. Цифровая обработка изображений / Б. Яне; [пер. с англ. А.М. Измайловой]. – М.: Техносфера, 2007. – 583 с.
8. Chi Z. Fuzzy algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition / Z. Chi, H. Yan, T. Pham – Singapore; New Jersey; London; Hong Kong: Word Scientific, 1998. – 225 p.
9. Ахметшина Л.Г. Преобразование фотоизображений горных пород на неоднородном фоне для контроля гранулометрического состава / П.И. Пилов, Л.Г. Ахметшина, А.А. Егоров, И.М. Удовик // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2014. – № 3 (54). – С. 50-54.
10. Шлихт Г.Ю. Цифровая обработка цветных изображений / Г.Ю. Шлихт. – М.: Эком, 1997. – 336 с.

References

1. Pilov P.I. The description of the specific surface of the reduction products based on the dispersion distribution function // Benefication of the minerals. – 2013. – Num. 53(94). – P. 60-68.
2. Kozin V.Z. The control of the benefication processes // Yecaterinburg: HS, 2005. – 303 p.
3. Kornienko V.I. The logical algorithms of the binary image processing in the optical granulometr of the crushed materials // Science Bulletin of The National Mining University. – 2006. – Vol. 11. – P. 89-90.
4. Kornienko V.I., Gluhov V.V. The problems of the mathematic support development for the optical granulometr of the crushed materials // Metal and mining manufacture. – 1990. – Vol. 2. – P. 68-71.
5. Pratt W.K. Digital Image Processing / W.K. Pratt – New York; – Chichester; Weinheim; Brisbane: John Wiley and Sons Inc., 2001. – 723 p.
6. Gonzalez R., Woods R. Digital image processing [transl. from English edited by Chochia P.A.]. – M.: Technosphera, 2006. – 1070 p.
7. Jähne B. Digital image processing [transl. from English edited by A.M. Izmaylovoy]. – M.: Technosphera, 2006. – 1070 p
8. Chi Z. Fuzzy algorithms: With Applications to Image Processing and Pattern Recognition / Z. Chi, H. Yan, T. Pham – Singapore; New Jersey; London; Hong Kong: Word Scientific, 1998. – 225 p.

9. Pilov P.I., Akhmetshina L.G., Yegorov A.A., Udovick I.M. The Transformation of Rock Photos with Heterogeneous Background for the Granulometric Composition Check // Bulletin of The Herson National Technical University. – 2014. – Vol. 3 (54). – P. 50 – 54.
10. Shliht G. Y. The digital processing of the color images – M.: Ecom, 1997. – 336 p.

RESUME

L.G. Achmetshina, A.A. Yegorov, I.M. Udovick

The Binarization Algorithm of the Rock Photos with Heterogeneous Background

This article is devoted to description and experimental researches of the modified algorithm of the rock color photos processing. The purpose of this processing is the detection of the objects of interest that represent the different size mineral fractions on the heterogeneous background. It gives the opportunity to automate the process of the granulometric composition analysis in the future.

The complicity of the edge detection of the objects of interest is provided by the heterogeneous of the background and brightness, the geometrical form of the objects and their optical properties and the ability of the «adhesion» of the different objects in the single structure.

The proposed algorithm includes next stages: brightness and contrast enhancement for the red color channel; background erasing (implemented by the consequent applying of the smoothing, filtering and exponential transformations); intensity changing to improve objects separation (implemented by the exponential transformations); edge detection (implemented by the Laplacian of Gaussian with the following exponential transformations); binarization; synthesizing the image based on the index of the color channel maximum and rejection of the unimportant differences; intensity changing to improve objects separation and edge detection (with the slightly different form of the used transformation); binarization and the merging two received binary images to get the final result.

The experimental researches of the proposed algorithm show the validity enhancement of the binarization and the edge detection of the mineral fractions comparing to the original method.

Статья поступила в редакцию 02.04.2014.